第41卷 第4期
2022年 7月

华 中 农 业 大 学 学 报
Journal of Huazhong Agricultural University

Vol.41 No.4
Jul. 2022,217～225

胡哲辉,刘园,王江波,等.3个品种梨香气感官品质与挥发性物质关联分析[J].华中农业大学学报,2022,41(4):217-225.
DOI:10.13300/j.cnki.hnlkxb.2022.04.027

3个品种梨香气感官品质与挥发性物质关联分析

胡哲辉[1],刘园[1],王江波[2],张红艳[1],吴翠云[2],徐娟[1]

1.园艺植物生物学教育部重点实验室/华中农业大学园艺林学学院,武汉430070;
2.南疆特色果树高效优质栽培与深加工技术国家地方联合工程实验室/塔里木大学植物科学学院/
新疆生产建设兵团塔里木盆地生物资源保护与利用重点实验室,阿拉尔843300

摘要 为探究梨果皮挥发性物质和感官属性之间的潜在联系,为梨的风味品质育种和采后贮藏等提供理论支持,采用气相色谱-质谱联用仪测定库尔勒香梨(*Pyrus sinkiangensis*)、雪花梨(*P. bretschneideri*)及黄冠梨(*P. bretschneideri*)果皮挥发性物质;组建15人的感官评价小组对3个品种梨果实香气品质进行快闪剖面分析;并进行感官评分与挥发性物质的相关性分析。结果显示:3个品种梨果实中分别检测到50、48和37种挥发性物质,且均以醛类、萜烯类和脂肪酸类为主,占总挥发性物质的85%左右;库尔勒香梨以脂肪酸类及醛类含量占优,雪花梨以萜烯类含量占优,黄冠梨中各类物质含量均为最低。3个品种梨果实中属性强度最高的均为果香,属性强度最低的则为酸味;库尔勒香梨中,仅甜香属性显著高于雪花梨,而除莲雾味外的其他香气属性均显著高于黄冠梨。感官评分与挥发性物质的相关性分析表明,戊二酸二甲酯、丁香酚、2-十一烯醛、2-乙基-3-羟基己基-2-甲基丙酸酯、3-亚甲基-1-氧代螺环[4.5]癸-2-酮等8种挥发性物质的含量与花香、青草香和果香等多种感官属性的评分呈显著正相关。感官评价和代谢物的关联分析有助于解析影响梨果实风味的关键化合物。

关键词 梨;香气;感官评价;快闪剖面分析;风味品质

中图分类号 S661.2 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2022)04-0217-09

梨属于蔷薇科苹果亚科,有着3 000 a的栽培历史[1],主要产地有中国、美国、意大利、阿根廷和西班牙[2]。2020—2021年中国梨的产量达1 610万t,在蔷薇科果树中仅次于苹果(4 050万t)(联合国粮食及农业组织2020年数据,http://www.fao.org/),有着重要的经济价值。

近年来梨的香气品质已成为梨产业研究的热点领域,香气浓郁的库尔勒香梨长期以来备受消费者喜爱。迄今为止,人们已经对不同品种梨的挥发性物质进行了大量的研究。田长平等[3]采用SPME-GC-MS对3种白梨和3种砂梨的挥发性物质的组成和质量分数进行测定,确定了己醛、1-己醇及乙酸己酯是6个品种共有的特征香气成分。Chen等[4]通过HS-SPME-GC-MS分析发现,鸭梨在贮藏过程中挥发性成分会随贮藏时间发生动态变化,酯类化合物种类会逐渐减少。Lara等[5]分析了长效气调贮藏下梨挥发性物质的合成情况,发现在低O_2下储存的梨果在返回正常条件时挥发性物质含量显著降低。Liu等[6]对南疆12个果园的库尔勒香梨进行感官评价,结果表明相比于“果实大小”“果实形状”和“果皮颜色”,消费者们更关注“口感”和“香气”。香气作为决定水果风味特征的关键因素,其在很大程度上影响消费者的选择和偏好。

本研究重点关注不同市售梨品种食用前的香气感官差异与代谢物之间的关联,选用黄冠梨、雪花梨和库尔勒香梨3种常见的市售梨品种为研究对象,这3种梨分别属于砂梨、白梨和新疆梨系统,具有品质好、耐贮藏、销量大等特点,且香气品质差异较大。其中,黄冠梨是以雪花梨为母本、日本砂梨新世纪为父本杂交培育而成[7]。虽然此前已有学者对这几种梨的挥发性成分进行了相关研究[8-10],并确定了梨的主要香气成分为己醛、1-己醇和乙酸己酯等,但鲜有

收稿日期:2022-02-23
基金项目:兵团南疆重点产业发展支撑计划项目(2017DB006G2)
胡哲辉,E-mail:huzhehui@webmail.hzau.edu.cn
通信作者:徐娟,E-mail:xujuan@mail.hzau.edu.cn

研究结合感官评价对梨果实代谢物进行关联性分析。将挥发性物质谱和感官品质评价相结合，可以有效筛选食品中的化合物与其感官品质之间的联系，目前已成为食品领域常用的分析方法及产品改进的探索方法[8,11]。相比于传统的感官描述分析方法，快闪剖面分析具有快速且不需要专业评价员等优点，本研究主要面向消费者，故采用该方法对3种梨感官属性进行描述性分析。在果实食用前，果皮的香气是影响消费者购买欲的主要因素，本研究首先对3个不同品种梨果皮的挥发性物质谱进行测定，对比3个品种梨挥发性成分之间的差异，并结合快闪剖面分析，探索挥发性物质和感官属性之间的潜在联系，以期为梨的风味品质育种和采后贮藏等过程提供理论支持。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

分别从3个不同市场挑选市售完整、健康、大小均一的库尔勒香梨、雪花梨与黄冠梨各5个，每种梨果实混合后分为3个生物学重复，每重复包括5个果实。果实清洗干净后立即用手术刀将果皮组织分割下来置于−80 ℃保存，用于后续的挥发性物质测定。

色谱纯甲基叔丁基醚（MTBE）购自赛默飞世尔科技公司。分析纯壬酸甲酯（内标）购自西格玛奥德里奇（上海）贸易有限公司。C7-C40正构烷烃混标购自上海安谱实验科技股份有限公司。配制参比样所用的标准品芳樟醇、(*E*)-2-己烯醛、金合欢醇、α-水芹烯、(*E*)-2-壬烯醛、2-甲基丁酸乙酯、大马烯酮均购自上海源叶生物科技有限公司。

1.2 仪器与设备

TSQ8000三重四级杆气相色谱质谱联用仪（美国赛默飞世尔科技有限公司），DTA-33超声波清洗机（鼎泰（湖北）生化科技设备制造有限公司），H1850R医用离心机（湖南湘仪实验室仪器开发公司）。

1.3 GC-MS检测挥发性物质

由于梨果皮是其挥发性物质含量和种类最多的组织，因此，本研究仅针对果皮进行分析。参照刘园等[12]、Zhang等[13]的方法，将果皮样品用液氮充分研磨成粉末后，称取0.50 g样品，采用有机溶剂MTBE萃取挥发性物质后进行GC-MS分析。内标壬酸甲酯含量为47.35 μg/mL，采用不分流模式，色谱柱为TRACE TR-5 MS柱（30 m×0.25 mm×0.25 μm，Thermo Scientific，Bellefonte，PA，USA），载气为高纯氦气。柱流速：1 mL/min。程序升温，起始温度40 ℃，保持3 min，以3 ℃/min升至160 ℃，保持1 min，以5 ℃/min升至200 ℃，保持1 min，再以8 ℃/min升至240 ℃，保持3 min，进样口温度250 ℃。传输线温度：280 ℃；离子源温度：260 ℃；离子化方式：EI；电子能量：70 eV；扫描范围为45～400 *m*/*z*。GC-MS分析时每次进样有3次机械重复。

1.4 香味感官描述词及相应参比样的确定

参考GB/T 12313−1990《感官分析方法风味剖面检验》组织15人评价小组（7男8女，由华中农业大学园艺林学学院研究生组成），参照以下流程进行分析：将分别具有3个梨品种各项品质属性代表性果实样品同时提供给评价员，要求所有评价员在嗅闻所有梨样品后尽可能多地对样品进行词汇描述；统计所有香味描述词后排除低频词汇和不准确词汇，得到最终的样品描述词；根据GB/T 29604−2013《感官分析建立感官特性参比样的一般导则》及前人的研究[14-17]确定所有描述词的对应参比样化合物，通过对比化合物阈值[18]及评价员感官测评确定各参比样工作浓度。

1.5 感官评价员的培训

在进行正式梨香味感官评价实验前，组织所有评价员对梨样品以及工作浓度的参比样进行嗅闻，并告知各参比样所代表的香味描述词，使其熟悉参比样的香味属性。评价员在嗅闻不同参比样时设置有短暂休息时间。感官培训全程共计2次，共2 h。

1.6 梨果实样品的香味品质感官评价

分3轮向上述15位评价员以随机顺序提供3个不同品种的梨果实样品，并依次提供8种工作浓度参比样以及足量的闻香试纸条，要求评价员以各参比样为单位“1”，对3个不同品种梨果实样品的各香味属性强度进行评分。采用5点标度法，且允许多次嗅闻。每轮评价完成后有3 min休息时间，并提供纯净水及减盐味苏打饼干（东莞市味盟食品有限公司生产）以消除感官疲劳和余味。

1.7 数据分析与统计

GC-MS原始数据用Xcalibur软件处理并导出，挥发性物质基于NIST MS Search 2.3数据库进行物质定性分析，为保证解谱的准确性，对每个离子峰单独鉴定，记录保留时间、化合物名称及原始数据峰面积。保留指数基于C7-C40正构烷烃在TR-5柱的保

留时间计算。

鉴定出的挥发性物质以壬酸甲酯作为内标来计算相对含量，计算公式为：挥发性组分的相对含量＝内标质量×（样品峰面积/内标峰面积）/样品质量。利用IBM SPSS Statistics 26软件对挥发性物质的含量进行差异显著性分析，显著性水平设为0.05。

将由GC-MS分析得到的挥发性物质含量数据与感官评价属性强度进行Pearson相关分析，相关性可视化由RStudio绘制，显著性水平设为0.05。

2　结果与分析

2.1　3种梨果皮的挥发性物质谱差异

分别对库尔勒香梨、雪花梨和黄冠梨果皮的挥发性物质进行测定（表1），结果显示，在库尔勒香梨中检测到的挥发性物质种类最多，共50种；在雪花梨和黄冠梨中分别检测到48种和37种。3个不同品种的梨果实挥发性物质主要以醛类、萜烯类和脂肪酸类为主，3类物质约占总挥发性物质的85%；烷烃类物质虽然种类最多，但含量仅占总挥发性物质的3.06%～8.70%。

库尔勒香梨果实中，总挥发性物质含量显著高于雪花梨和黄冠梨，以脂肪酸类及醛类含量占优，且烯烃类物质仅在库尔勒香梨中检测到；除萜烯类以外，所有其他种类挥发性物质含量均显著高于黄冠梨；其醛类、酯类、烯烃类和脂肪酸类物质含量均显著高于雪花梨。

雪花梨果实中，以萜烯类含量占优，所有挥发性物质中，仅萜烯类物质含量显著高于库尔勒香梨；其萜烯类、芳烃类、醇类、脂肪酸类、酮类挥发性物质含量显著高于黄冠梨。

黄冠梨的总挥发物含量显著低于其他2种梨，仅分别为库尔勒香梨和雪花梨的21.12%和39.22%，各类物质含量均为最低。

表1　3个品种梨果实挥发性物质比较

Table 1　Comparison of volatile classes and compounds numbers in fruits of 3 different pear cultivars

物质 Compounds	库尔勒香梨 Korla		雪花梨 Xuehua		黄冠梨 Huangguan	
	种类数 Types	含量/(μg/kg) Content	种类数 Types	含量/(μg/kg) Content	种类数 Types	含量/(μg/kg) Content
醛类 Aldehydes	10	12 977.67±733.86a	10	3 466.95±894.68b	8	2 363.69±371.04b
酯类 Esters	5	710.10±106.13a	5	137.56±3.34b	3	50.90±4.32b
萜烯类 Terpenes	2	4 028.54±716.68b	3	10 086.56±844.63a	3	3 934.17±645.47b
烷烃 Alkanes	12	1 776.14±292.80a	11	701.20±27.91b	12	781.13±14.60b
烯烃 Olefins	2	633.82±76.01a	0	0.00±0.00b	0	0.00±0.00b
芳香烃 Aromatic hydrocarbons	5	373.54±30.36a	4	357.05±119.84a	3	82.50±6.74b
醇类 Alcohols	8	801.03±53.30a	8	905.23±160.74a	5	348.81±21.18b
脂肪酸类 Fatty acids	4	20 953.33±2 019.80a	5	7 048.25±499.80b	2	1 372.45±168.92c
酮类 Ketones	2	252.22±39.63a	2	192.01±19.93a	1	45.33±0.80b
总计 Total	50	42 506.39±616.89a	48	22 894.82±1 569.10b	37	8 978.98±1 020.00c

注：数据表示为平均值±标准差。同一行中的不同字母表示不同品种梨果实挥发性物质含量差异显著（$P<0.05$），下同。Note：Data are mean ± standard deviation.Different letters indicate that volatile concentrations were significantly different among fruits of 3 different pear cultivars ($P<0.05$).

如表2所示，在所有挥发性物质中，有6种仅在库尔勒香梨中被检测到，分别为(3*E*)-3-十七烯、新植二烯、4-(丙-2-烯基)-苯酚、对甲基苯酚、氧代苯甲酸甲醇和十四烷醇；有2种仅在雪花梨中被检测到，分别是β-茄烯-4α-醇和己酸；而(*E*,*E*)-2,4-癸二烯醛、4-(乙氧基)-2-氧代丁-3-烯酸乙酯等9种挥发性物质在黄冠梨中未被检测到。

己醛作为梨的嗅感物质[19-20]，在3个不同品种的梨果实中均有较高含量。同时，2-己烯醛、壬醛、*D*-柠檬烯、α-法呢烯、正十六烷酸等物质也在3个不同品种的梨果实中被检测到且含量较高。虽然3个不同品种的梨果实中均以正十六烷酸、2-己烯醛、α-法呢烯、己醛排居各自总含量的前4位，但库尔勒香梨

的正十六烷酸、2-己烯醛、己醛的含量均显著高于雪花梨和黄冠梨；雪花梨中的α-法呢烯含量显著高于另外2种梨，而正十六烷酸、2-己烯醛和己醛的含量与黄冠梨之间无显著差异。

表2 不同品种梨中挥发性物质种类及含量

Table 2 Constitutes and concentrations of volatile substances in fruits of different pear cultivars

挥发性物质 Volatiles	保留时间/min Retention time	保留指数 Retention index	含量/(μg/kg) Content		
			雪花梨 Xuehua	黄冠梨 Huangguan	库尔勒香梨 Korla
醛类 Aldehydes					
己醛 Hexanal	6.05	800	1 224.62±469.42b	1 273.23±139.32b	3 418.30±184.64a
2-己烯醛 2-Hexenal	7.93	851	1 321.97±395.47b	678.29±136.55b	6 127.33±166.79a
苯乙醛 Benzeneacetaldehyde	16.72	1 045	12.18±4.46	58.30±36.36	35.08±3.89
壬醛 Nonanal	19.9	1 104	614.26±80.24b	173.86±41.93b	2 562.96±535.34a
水杨醛 Isoxylaldehyde	24.95	1 208	81.76±6.13b	80.68±0.79b	389.23±46.80a
(*E*)-2-癸烯醛 (*E*)-2-Decenal	27.29	1 263	31.67±2.96b	15.72±2.12b	151.82±45.26a
(*E*,*E*)-2,4-癸二烯醛 (*E*,*E*)-2,4-Decadienal	29.88	1 317	82.48±7.79	—	84.85±6.82
2-十一烯醛 2-Undecenal	31.93	1 367	18.04±1.24	—	24.91±0.47
香草醛 Vanillin	33.03	1 404	58.84±5.60b	27.68±4.90b	137.59±17.23a
十二醛 Dodecanal	33.85	1 409	21.14±4.13b	20.94±3.58b	45.61±8.18a
酯类 Esters					
4-(乙氧基)-2-氧代丁-3-烯酸乙酯 Ethyl4-(ethyloxy)-2-oxobut-3-enoate	9.89		77.60±15.57	—	79.64±29.96
戊二酸二甲酯 Dimethyl glutarate	21.37	1 135	17.24±2.46ab	11.73±2.43b	20.24±3.19a
己二酸二甲酯 Hexanedioicacid,dimethylester	26.38	1 243	33.28±2.12ab	29.01±2.49b	37.69±2.85a
胡椒酚乙酸酯 Chavicol,acetate	30.93	1 351	70.00±8.14b	—	632.51±92.60a
2-乙基-3-羟基己基2-甲基丙酸酯 2-Ethyl-3-hydroxyhexyl 2-methylpropanoate	32.20	1 373	17.05±1.36ab	10.17±1.85b	19.65±9.14a
萜烯类 Terpenes					
D-柠檬烯 *D*-Limonene	16.07		136.60±4.23	120.98±17.79	117.30±8.28
α-法呢烯 α-Farnesene	37.8	1 508	9 806.49±834.03a	3 703.14±662.38b	3 911.24±708.47b
E-环氧法呢烯 *E*-Farneseneepoxide	42.26	1 624	143.48±42.05	110.05±5.60	—
烷烃 Alkanes					
3-甲基-5-丙基壬烷 3-Methyl-5-propylnonane	17.48	1 052	40.07±5.72b	53.62±4.27a	38.41±4.48b
十一烷 Undecane	19.71	1 100	42.57±2.34a	34.25±3.52b	37.77±3.44ab
十二烷 Dodecane	24.53	1 200	73.23±6.87	48.30±4.52b	71.81±8.90a
2,6-二甲基十一烷 2,6-Dimethylundecane	25.15	1 210	13.94±0.30	18.36±4.08	17.98±2.16
3,4-二甲基十一烷 3,4-Dimethylundecane	26.68	1 247	17.49±2.40b	12.04±0.63b	26.93±5.36a
2-甲基十二烷 2-Methyldodecane	27.40	1 264	29.42±3.85	27.92±4.93	30.71±3.02
2,6,11-三甲基十二烷 2,6,11-Trimethyldodecane	27.98	1 275	—	192.34±16.12b	975.12±233.44a
十三烷 Tridecane	29.00	1 300	38.93±1.44b	36.43±2.48b	49.82±3.85a
4,6-二甲基十二烷 4,6-Dimethyldodecane	30.12	1 325	129.81±4.41a	108.25±1.34b	131.85±9.73a
2,3,7-三甲基癸烷 2,3,7-Trimethyldecane	36.13	1 466	28.36±2.72	27.57±6.77	36.42±8.83
2,6,10-三甲基十四烷 2,6,10-Trimethyltetradecane	39.06	1 539	212.20±17.64a	159.27±5.76b	204.08±23.77ab
十六烷 Hexadecane	41.66	1 600	75.18±4.84b	62.78±8.72b	155.25±33.63a

续表 2 **Continued Table** 2

挥发性物质 Volatiles	保留时间/min Retention time	保留指数 Retention index	含量/(μg/kg) Content		
			雪花梨 Xuehua	黄冠梨 Huangguan	库尔勒香梨 Korla
烯烃 Olefins					
(3*E*)-3-十七烯 (3*E*)-3-Heptadecene	44.6	1 689	—	—	231.43±21.22
新植二烯 Neophytadiene	49.72	1 837	—	—	402.39±56.47
芳香烃 Aromatic hydrocarbons					
2-乙基-6-甲基苯胺 2-Ethyl-6-methylaniline	25.29	1 218	22.56±2.78b	16.37±1.45c	52.27±2.07a
4-(丙-2-烯基)-苯酚 4-(Prop-2-enyl)-phenol	26.8	1 255	—	—	66.19±9.81
丁香酚 Eugenol	31.27	1 357	52.13±25.57	—	68.82±1.66
对甲基苯酚 *p*-Formylphenol	31.55	1 364	—	—	62.11±6.15
异丁香酚 Isoeugenol	35.32	1 450	45.74±4.06b	23.86±1.05c	124.16±13.04a
3,4-二乙基-1,1′-二苯 3,4-Diethyl-1,1′-biphenyl	44.72	1 692	236.61±102.33a	42.27±5.78	—
醇类 Alcohols					
2-乙基-1-己醇 2-Ethyl-1-hexanol	16.17	1 030	25.64±4.32	28.39±7.10	28.83±0.92
1-辛醇 1-Octanol	18.23	1 071	32.51±6.42b	17.88±1.77c	108.26±4.23a
氧代苯甲酸甲醇 Methanol,oxo-,benzoate	22.42		—	—	46.06±1.78a
3,5-二甲基-苯甲醇 Benzenemethanol,3,5-dimethyl-	26.97		59.90±7.85	66.82±1.58	70.13±4.16
(*Z*)-4-癸烯-1-醇 (*Z*)-4-Decen-1-ol	27.06	1 257	19.05±3.00b	—	48.44±16.04a
β-茄烯-4α-醇 β-Copaen-4α-ol	41.02	1 586	93.68±18.94	—	—
十四烷醇 Tetradecanal	42.06	1 613	—	—	81.49±31.11
2,6-二甲氧基-1,4-苯二醇 2,6-Dimethoxy-1,4-benzenediol	43.27	1 653	246.39±46.83a	120.86±3.03b	—
反式法呢醇 *trans*-Farnesol	45.9	1 722	348.10±135.97a	—	285.12±50.53b
(*E*)-松香醇 (*E*)-Coniferylalcohol	46.44	1 743	79.96±12.29b	114.85±14.01a	132.70±11.44a
脂肪酸 Fatty acids					
己酸 Hexanoicacid	14.33	990	59.81±29.24	—	—
壬酸 Nonanoicacid	27.69	1 273	357.25±31.82a	—	41.29±9.49b
十二烷酸 Dodecanoicacid	40.27	1 568	142.47±21.39b	68.63±10.30c	374.72±210.01a
十四酸 Tetradecanoicacid	47.42	1 768	24.24±10.70b	—	302.28±83.83a
正十六烷酸 *n*-Hexadecanoicacid	53.01	1 968	6 464.46±443.23b	1 303.82±158.90c	20 235.05±1 87.44 a
酮类 Ketones					
异佛尔酮 Isophorone	20.54	1 124	45.21±3.79	45.33±0.80	55.11±4.89
3-亚甲基-1-氧代螺环[4.5]癸-2-酮 3-Methylene-1-oxa-spiro[4.5]decan-2-one	32.76		146.80±22.58	—	197.11±35.12

注："—"表示该物质低于检测限水平。"—" indicates the substance was under detection level.

2.2　不同品种梨果实的感官属性描述性分析

根据15人评价小组分别对3个品种梨果实的快闪剖面分析结果，将相关属性强度进行统计并绘制成雷达图(图1)。结果显示：果香在3个不同品种的梨果实中得分均为最高，脂香的属性强度则被评价员给予最低分；库尔勒香梨仅甜香属性显著高于雪花梨，除莲雾味属性外，其他香气得分均显著高于黄冠梨；雪花梨表现出最强的莲雾味；除脂香味外，黄冠梨的所有其他香味属性均显著低于雪花梨。

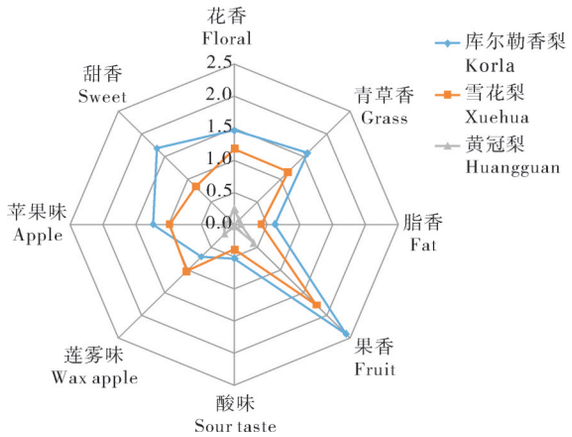
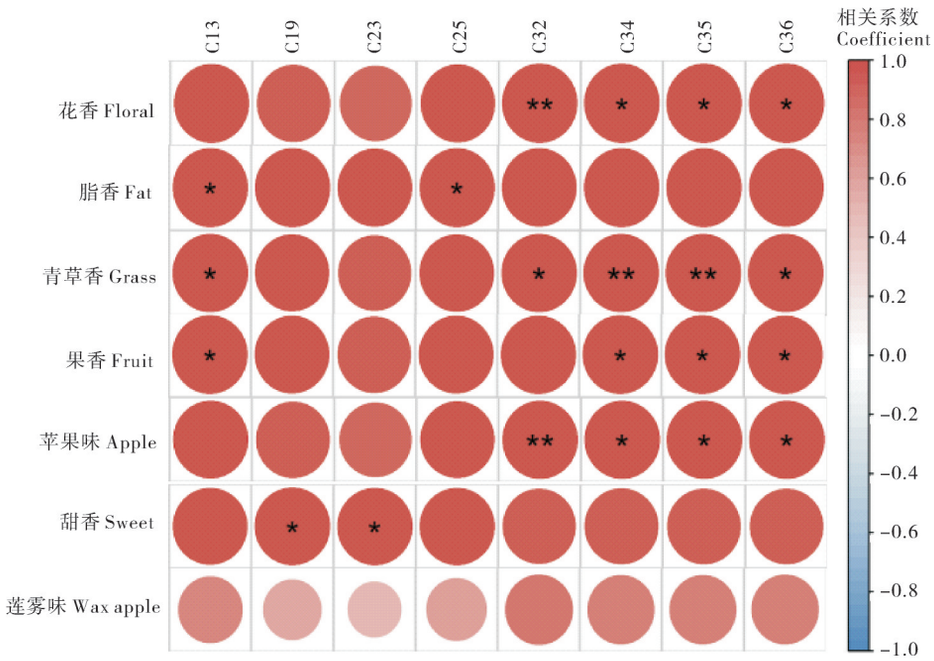


图1 3个品种梨果实的香味感官属性描述性分析雷达图

Fig.1 Radar chart of descriptive analysis of aroma sensory attributes of three kinds of pear fruits

2.3 挥发性物质与香味感官品质属性的相关性分析

对3个品种梨果实的挥发性物质和7种香气感官属性进行相关性分析，结果(图2)显示，戊二酸二甲酯与脂香、青草香、果香呈显著正相关；己二酸二甲酯和(*Z*)-4-癸烯-1-醇与甜香的评分呈显著正相关；2-甲基十二烷与脂香呈显著正相关；丁香酚与花香、苹果味和青草香呈显著正相关；2-十一烯醛、2-乙基-3-羟基己基2-甲基丙酸酯和3-亚甲基-1-氧代螺环[4,5]癸-2-酮与花香、青草香、果香和苹果味均呈显著正相关。此外，尚未发现与莲雾味具有相关性的挥发性物质。



C13:戊二酸二甲酯;C19:己二酸二甲酯;C23:(*Z*)-4-癸烯-1-醇;C25:2-甲基十二烷;C32:丁香酚;C34:2-十一烯醛;C35:2-乙基-3-羟基己基2-甲基丙酸酯;C36:3-亚甲基-1-氧代螺环[4.5]癸-2-酮。红色圆圈越大和颜色越深均表示相关性越高,*为在α=0.05水平上显著相关;**为在α=0.01水平上显著相关。C13:Dimethyl glutarate; C19:Hexanedioicacid,dimethylester; C23:(*Z*)-4-Decen-1-ol; C25:2-Methyl-dodecane; C32:Eugenol; C34:2-Undecenal; C35:2-Ethyl-3-hydroxyhexyl 2-methylpropanoate; C36:3-Methylene-1-oxa-spiro[4.5]decan-2-one. The larger the red circle and the darker the color, the higher the correlation.* represent a significant correlation at the level of α=0.05; ** represent a significant correlation at the level of α=0.01.

图2 感官属性评分与挥发性物质的相关性分析

Fig.2 Correlation analysis between sensory attribute scores and volatile substances

3 讨 论

挥发性物质的组成及含量对果实的内外品质有着重要影响，影响消费者的偏好性和购买欲。本研究采用GC-MS分别对市售雪花梨、黄冠梨、库尔勒香梨果皮的挥发性物质进行测定，发现最受消费者青睐的市售库尔勒香梨中有50种挥发性物质，在3个品种中最多，且总含量最高，浓郁且特殊的香气是其具有重大商业价值的关键感官属性[20]。但是，Liu等[6]对刚下树库尔勒香梨挥发性物质进行测定时，共

检测到69种挥发性成分，表明库尔勒香梨的部分挥发性物质在储运过程中会逐渐逸散，与Chen等[4]的研究结果相符。刘向平等[21]研究也发现鸭梨在贮藏期间香气容易散失，且在贮藏后期下降较快。董萍[22]通过SPME-GC-MS对南洋梨贮藏过程中香气变化进行测定，发现1-MCP处理可以延长果实的常温贮藏期，但是果实的香气会减弱。如何减少梨果在采后储运过程中挥发性物质的散失，维持并提升果实感官品质，有待后期着重研究。

由于黄冠梨是雪花梨（母本）和‘新世纪’砂梨（父本）的杂交后代，其香味和挥发性物质与其亲本相比具有较大差异。同时，在向思敏等[23]对新梨7号及其父母本果皮挥发性物质对比的研究中发现，新梨7号较其母本减少了42种挥发性物质，总含量减少了约51%，损失了多种具有油脂味的脂肪酸和具有花香味的萜烯类物质，且较父本减少了8种挥发性成分。但目前新世纪梨的挥发性成分尚不明晰，关于这3个品种梨果实中挥发性物质代谢的遗传规律有待进一步阐明。

本研究基于15人评价小组的感官描述性分析结果表明库尔勒香梨大部分的感官属性强度均高于雪花梨和黄冠梨，而黄冠梨在各个香气属性的感官得分均显著低于另外2个梨品种。雪花梨的莲雾味属性评分最高，然而，并未发现与莲雾味有潜在联系的挥发性物质，这可能受仪器灵敏度所限制。前期笔者所在课题组在利用GC-O（嗅闻仪）联用方法确定柑橘的关键香气活性成分时，也发现了类似现象，表现为能在嗅闻仪上闻到气味的几个对应保留时间内未检测到相应的色谱峰。说明有浓度和气味阈值均较低的挥发性成分未被GC检测到，使用高分辨率的GC-MS可能会解决这个问题。

相关性分析显示，共有8种挥发性物质的含量分别与不同香气感官属性具有显著相关性，其中戊二酸二甲酯、丁香酚、2-十一烯醛、2-乙基-3-羟基己基2-甲基丙酸酯、3-亚甲基-1-氧代螺环[4.5]癸-2-酮这5种物质与多种感官属性的评分呈显著正相关，表明这几种挥发性物质的含量可能对梨的香气品质有重要贡献。例如丁香酚是一种具有强烈丁香香气和温和辛香的化合物，还具有抑菌杀病毒等功能[24]，是良好的风味化合物。另一方面，也说明梨中不同香味感官属性可能是多种风味化合物共同起作用的综合表现。这些风味化合物在不同品种梨果实中的差异可能与其产生的代谢途径以及关键酶活性差异有关[25]，具体的机制有待进一步的研究。同时，对旨在提升风味品质的育种目标而言，增加这8种挥发性物质的含量可能会显著提升梨果实的香气品质。因此，相关基因的挖掘和功能验证工作值得进一步深入开展。

参考文献 References

[1] 滕元文.梨属植物系统发育及东方梨品种起源研究进展[J].果树学报，2017，34(3)：370-378.TENG Y W.Research progress on the phylogeny of *Pyrus* and the origin of oriental pear varieties [J].Acta fruit tree，2017，34(3)：370-378(in Chinese with English abstract).

[2] REUSCHER S，FUKAO Y，MORIMOTO R，et al.Quantitative proteomics-based reconstruction and identification of metabolic pathways and membrane transport proteins related to sugar accumulation in developing fruits of pear (*Pyrus communis*)[J]. Narnia，2016，57 (3)：505-518.

[3] 田长平，魏景利，刘晓静，等.梨不同品种果实香气成分的GC-MS分析[J].果树学报，2009，26(3)：294-299.TIAN C P，WEI J L，LIU X J，et al.GC-MS analysis of the aroma components of different varieties of pears[J].Acta fruitology，2009，26(3)：294-299(in Chinese with English abstract).

[4] CHEN J L，YAN S J，FENG Z S，et al.Changes in the volatile compounds and chemical and physical properties of Yali pear (*Pyrus bertschneideri* Reld) during storage[J].Food chemistry，2006，97 (2)：248-255.

[5] LARA I，MIRÓ R M，FUENTES T，et al.Biosynthesis of volatile aroma compounds in pear fruit stored under long-term controlled-atmosphere conditions[J].Postharvest biology and technology，2003，29 (1)：29-39.

[6] LIU Y，XIANG S M，ZHANG H P，et al.Sensory quality evaluation of korla pear from different orchards and analysis of their primary and volatile metabolites[J/OL].Molecules，2020：25 (23)：5567[2022-02-23].https://doi.org/10.3390/molecules25235567.

[7] 宋素智，刘胜缺，柴全喜.黄冠梨早果丰产优质栽培[J].西北园艺(果树专刊)，2003(3)：21-22.SONG S Z，LIU S Q，CHAI Q X.Early-fruit，high-yield and high-quality cultivation of Huangguan pear[J].Northwest horticulture (fruit tree special issue)，2003(3)：21-22(in Chinese).

[8] CHEN J Q，LÜ J H，HE Z H，et al.Investigations into the production of volatile compounds in Korla fragrant pears (*Pyrus sinkiangensis* Yu)[J/OL].Food chemistry，2020，302：125337[2022-02-23].https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125337.

[9] 马越，谢国莉，韩玛莉娜，等.黄冠梨香气成分气相色谱-质谱联用分析[J].食品研究与开发，2019，40(14)：206-212.MA Y，XIE G L，HAN M L N，et al.Gas chromatography-mass spectrometry analysis of aroma components of Huangguan pear[J]. Food research and development，2019，40 (14)：206-212(in Chinese with English abstract).

[10] 陈颖，李凯，杨丽维，等.雪花梨香气成分研究[J].中国果树，2017(6)：15-19.CHEN Y，LI K，YANG L W，et al.Study on the aroma components of Xuehua pear[J].China fruit tree，2017(6)：

15-19(in Chinese).

[11] CHEN J L, WU J H, WANG Q, et al. Changes in the volatile compounds and chemical and physical properties of Kuerle fragrant pear (*Pyrus serotina* Reld) during storage[J].Journal of agricultural and food chemistry,2006,54 (23):8842-8847.

[12] 刘园,向思敏,王江波,等.库尔勒香梨挥发性物质及初生代谢物的GC-MS分析[J].华中农业大学学报,2020:39(1):44-52. LIU Y,XIANG S M,WANG J B,et al.GC-MS analysis of volatile compounds and primary metabolites of Korla fragrant pear [J].Journal of Huazhong Agricultural University,2020:39(1):44-52(in Chinese with English abstract).

[13] ZHANG H P,XIE Y X,LIU C H,et al.Comprehensive comparative analysis of volatile compounds in citrus fruits of different species[J/OL]. Food chemistry, 2017, 230: 316[2022-02-26]. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.03.040.

[14] 涂俊凡,秦仲麒,李先明,等.砂梨和库尔勒香梨果实香气物质的GC-MS分析[J].湖北农业科学,2011,50(15):3186-3190. TU J F,QIN Z Q,LI X M,et al.GC-MS analysis of the aroma compounds of sand pear and Korla fragrant pear[J].Hubei agricultural sciences, 2011, 50(15): 3186-3190(in Chinese with English abstract).

[15] 余炼,颜栋美,白洋.莲雾香气成分分析[J].广西大学学报(自然科学版),2007(S1):65-68.YU L,YAN D M,BAI Y.Analysis of the aroma components of *Syzygium samarangense*[J].Journal of Guangxi University (natural science edition),2007 (S1): 65-68(in Chinese with English abstract).

[16] 张丽梅,许玲,陈志峰,等.莲雾果实香气成分的GC-MS分析[J].福建农业学报,2012,27(1):109-112.ZHANG L M,XU L, CHEN Z F,et al.GC-MS analysis of aroma components of *Syzygium samarangense* fruit[J].Fujian journal of agricultural sciences,2012,27(1):109-112(in Chinese with English abstract).

[17] BERGER R G.Flavours and fragrances[M].Berliny: Springer-Verlag,2007.

[18] 里奥·范海默特.化合物嗅觉阈值汇编[M].2版.李智宇,王凯,冒德寿,等,译.北京:科学出版社,2018.VAN GEMERT L J. Compilation of compound olfactory thresholds [M]. 2nd ed. Translated by LI Z Y,WANG K,MAO D S,et al.Beijing:Science Press,2018(in Chinese).

[19] 陈计峦,周珊,闫师杰,等.丰水梨、砀山梨、南果梨的香气成分分析[J].园艺学报,2005,32(2):301-303.CHEN J L,ZHOU S, YAN S J,et al.Analysis of aroma components of Fengshui pear, Dangshan pear, and Nanguo pear[J]. Acta horticultural sinica, 2005,32(2):301-303(in Chinese with English abstract).

[20] 陈计峦.梨香气成分分析、变化及理化特征指标的研究[D].北京:中国农业大学,2005.CHEN J L.Study on the aroma compounds analysis and variation, and physical and chemical characteristic index in pear [D].Beijing:China Agricultural University, 2005(in Chinese with English abstract).

[21] 刘向平,寇晓虹,张平,等.不同采收期对鸭梨采后贮藏香气成分的影响[J].食品科学,2010,31(10):292-295.LIU X P,KOU X H,ZHANG P,et al.The effect of different harvesting periods on the aroma components of Ya pear postharvest storage[J]. Food science,2010,31 (10):292-295(in Chinese with English abstract).

[22] 董萍.南果梨香气成分分析及其在采后贮藏过程中的变化[D].沈阳:沈阳农业大学,2011.DONG P.Analysis of aroma components of Nanguo pear and its changes during postharvest storage [D].Shenyang:Shenyang Agricultural University,2011(in Chinese with English abstract).

[23] 向思敏,刘园,王江波,等.新梨7号及其亲本果皮挥发性物质的比较分析[J].华中农业大学学报,2021,40(5):108-115. XIANG S M,LIU Y,WANG J B,et al.Comparative analysis of volatile compounds in the peel of Xinli No.7 and its parents[J]. Journal of Huazhong Agricultural University,2021,40(5):108-115(in Chinese with English abstract).

[24] 彭宅彪,张琼光,代虹健,等.丁香酚的药理学研究进展[J].时珍国医国药,2006(10):2079-2081.PENG Z B,ZHANG Q G, DAI H J, et al. Progress in pharmacology of eugenol[J].Lishizhen traditional Chinese medicine and materia medica,2006(10): 2079-2081(in Chinese).

[25] 乜兰春,孙建设,黄瑞虹.果实香气形成及其影响因素[J].植物学通报,2004,21(5):631-637.NIE L C,SUN J S,HUANG R H.Fruit aroma formation and its influencing factors[J].Botany bulletin, 2004, 21(5): 631-637 (in Chinese with English abstract).

[26] 陈祖民,校诺娅,张艳霞,等.水分胁迫对'玫瑰香'葡萄果实挥发性化合物及相关基因表达的影响[J].园艺学报,2021,48(5):883-896.CHEN Z M,XIAO Y N,ZHANG Y X,et al.The effect of water stress on the expression of volatile compounds and related genes in 'Rosix Fragrant' grape fruit[J].Acta horticultural sinica,2021,48(5):883-896 (in Chinese with English abstract).

[27] 黄苏婷,杭方学,陆海勤,等.水果挥发性香气成分研究进展[J].轻工科技,2019,35(2):1-4.HUANG S T,HANG F X,LU H Q,et al.Research progress on volatile aroma components of fruits [J].Light industry science and technology,2019,35(2):1-4(in Chinese).

[28] SYAMALADEVI R M,LUPIEN S L,BHUNIA K,et al.UV-C light inactivation kinetics of *Penicillium expansum* on pear surfaces: influence on physicochemical and sensory quality during storage[J].Postharvest biology and technology,2014,87:27-32.

[29] 王海波,陈学森,辛培刚,等.几个早熟苹果品种香气成分的GC-MS分析[J].果树学报,2007,24(1):11-15.WANG H B, CHEN X S,XIN P G,et al.GC-MS analysis of aroma components of several early-ripening apple varieties[J].Journal of fruit science,2007,24(1):11-15(in Chinese with English abstract).

[30] WU J,WANG Z W,SHI Z B,et al.The genome of the pear (*Pyrus bretschneideri* Rehd.)[J].Genome research, 2013, 23 (2): 396-408.

[31] ZHANG W T,LAO F,BI S,et al.Insights into the major aroma-active compounds in clear red raspberry juice(*Rubus idaeus* L.cv. Heritage) by molecular sensory science approaches[J/OL].Food chemistry, 2021, 336: 127721 [2022-02-23]. https://doi. org/10.1016/j.foodchem.2020.127721.

[32] 张鑫,颉敏华,毕淑海,等.GA_3对'黄冠梨'冷藏期间品质变化及贮藏性能的影响[J].甘肃农业大学学报,2018,53(6):213-220,230.ZHANG X,JIE M H,BI S H,et al.The effect of GA_3 on the quality change and storage performance of 'Huangguan pear' during cold storage[J].Journal of Gansu Agricultural University,2018,53(6):213-220,230(in Chinese with English abstract).

Aroma and sensory qualities and their associated volatile components of three pear cultivars

HU Zhehui[1], LIU Yuan[1], WANG Jiangbo[2], ZHANG Hongyan[1], WU Cuiyun[2], XU Juan[1]

1. *Key Laboratory of Horticultural Plant Biology, Ministry of Education/ College of Horticulture and Forestry Sciences, Huazhong Agricultural University, Wuhan* 430070, *China*;

2. *The National and Local Joint Engineering Laboratory of High Efficiency and Superior-Quality Cultivation and Fruit Deep Processing Technology of Characteristic Fruit Trees in Southern Xinjiang/ College of Plant Science, Tarim University /Xinjiang Production and Construction Corps Key Laboratory of Biological Resources Protection and Utilization in Tarim Basin, Alar* 843300, *China*

Abstract　The aroma of fruit is an important sensory attribute that affects preference of consumer. Different pear cultivars have different aromas and are ideal materials to identify the volatile components associated with aroma and sensory qualities. In this article, gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS) was used to profile volatiles in three pear cultivars commonly marketed including Korla, Xuehua and Huangguan pears. Results showed that 50, 48, and 37 volatile components were detected in the fruits of three pear cultivars respectively. The main volatile components belong to alkanes, terpenes and fatty acids, accounting for about 85% of the total volatile compounds. Korla is dominated by fatty acids and aldehydes. Xuehuais dominated by terpenes. Huangguan has the lowest content of various substances. The results of a 15-person sensory panel conducting a flash profiling analysis on the fruit aroma quality of three pear cultivars showed that 'fruity' of three cultivars was the most intense sensory attribute while 'sour' was the lowest. Among Korla pears, only the properties of sweetness are significantly higher than that of Xuehua pears. The properties of aroma except for wax apple are significantly higher than that of Huangguan pears. The results of correlation analysis between sensory scores and volatile compounds showed that 8 volatiles including dimethyl glutarate, eugenol, 2-undecenal, 2-ethyl-3-hydroxyhexyl-2-methylpropanoate and 3-methylene-1-oxa spiro [4.5] decan-2-one was significantly correlated with various sensory traits including 'floral' 'green' and 'fruity'. The jointly analyzing sensory evaluation and metabolites helps to identify the key compounds which affect the fruit flavor. It will provide a theoretical basis for breeding pear cultivars with flavor quality in the future.

Keywords　pear; aroma; sensory evaluation; flash profiling analysis; flavor quality

（责任编辑：张志钰）